Iranian Journal of Field Crops Research
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

Research Article
Vol. 21, No. 1, Spring 2023, p. 11-28

Effect of Deficit Irrigation at Different Stages on Physiological Traits and Water Use Efficiency of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) under Two Planting Methods

F. Mashhadi[1], H. R. Khazaei[2*], M. R. Ramazani Moghaddam[3]

Received: 17-06-2020 Revised: 02-08-2020 Accepted: 31-08-2020	**How to cite this article:** Mashhadi, F., Khazaei, H. R., & Ramazani Moghaddam, M. R. (2023). Effect of Deficit Irrigation at Different Stages on Physiological Traits and Water Use Efficiency of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) under Two Planting Methods. *Iranian Journal of Field Crops Research, 21*(1), 11-28. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/gsc.v0i0.87296

Introduction

The increasing demand for medicinal plants in traditional medicine as well as the pharmaceutical industry has created the need for some plants to be grown commercially, but the lack of soil moisture poses a serious threat to their production. Planting method can affect the emergence and growth rate of crop and lead to decrease water consumption and increase irrigation water efficiency as yield increases. Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) is one of the drought tolerant plants. Saving water consumption by cultivating drought tolerant plants has been proposed as a strategy to combat drought. It should be noted, however, that irrigation without proper planning can reduce the growth and production of crops. In this regard, determining time of deficit irrigation with minimum damage is an appropriate solution that achieves optimum yield while saving water consumption. The aim of this study was to investigate the effect of different irrigation regimes and planting method on some physiological traits, yield and water use efficiency of Roselle plant.

Materials and Methods

The experiment was conducted as split plot based on randomized complete blocks design with three replications at the Research Farm of Kashmar Agricultural and Natural Resources Research Station, during two growth seasons 2016 and 2017. Irrigation (in seven levels i.e. I100: 100% crop water requirement (CWR), $I_1$80: 80% CWR from 8-leaf stage to end of flowering, $I_2$80: 80% CWR from 8-leaf stage to beginning of flowering, $I_3$80: 80% CWR from beginning to end of flowering, $I_1$60: 60% CWR from 8-leaf stage to end of flowering, $I_2$60: 60% CWR from 8-leaf stage to beginning of flowering, $I_3$60: 60% CWR from beginning to end of flowering) and planting method (in two levels i.e. direct and indirect) were in main plots and sub plots, respectively. In the transplanting method, the seeds were sown in the transplant tray on March 10, 2016 and 2017 and transplanted to the farm in four-leaf stage. Direct cultivation was also carried out in April, in 2.5 × 7 meter plots at a depth of 1.5 cm.

In order to measure physiological traits, sampling from the youngest leaves of plants under stress and control conditions was carried out at the maximum flowering stage. Physiological traits including chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoid, leaf relative water content and proline content were measured using these leaves. At the harvest time, two square meters of each plot were harvested. Then, seed and calyx yield were measured and using the measured amount of water consumed, water use efficiency based on seed and calyx were calculated.

Data were analyzed with SAS software; obtained averages compared with using Tukey's Studentized Range (HSD) Test at the 5% probability level.

1- Ph.D. Student in crop physiology, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
2- Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
3- Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email :h.khazaie@um.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/gsc.v0i0.87296

Results and Discussion

The results showed leaf relative water content was affected only by irrigation and planting method and seed and calyx yields were affected only by irrigation. The leaf relative water content in seedling planting method was higher than direct planting. The highest relative leaf water content (84.66%), seed (667.54 kg ha^{-1}) and calyx yield (392.73 kg ha^{-1}) were obtained in I100 treatment that for yield had no significant difference with I801 treatment. The lowest these traits were also obtained in $I_3$60 treatment.

The interaction effect between irrigation and planting method was significant on chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoids, leaf proline content, seed and calyx water use efficiency. In most irrigation levels, transplanting improved these traits compared to direct sowing. I100 and transplanting treatment had the highest chlorophyll a (0.31 µmol g^{-1} fw), chlorophyll b (0.16 µmol g^{-1} fw) and carotenoids (0.56 µmol g^{-1} fw) and $I_3$60 and transplanting treatment had the highest leaf proline content (7.95 µmol g^{-1} fw). The highest seed (0.15 kg m^{-3}) and calyx (0.08 kg m^{-3}) water use efficiency were obtained in $I_1$60 and transplanting treatment and $I_1$80 and transplanting treatment was located in the second level. $I_3$60 and direct planting method had the lowest seed (0.06 kg m^{-3}) and calyx (0.03 kg m^{-3}) water use efficiency.

Conclusion

The results of this study revealed that deficit irrigation at 80% of the crop water requirement from 8-leaf stage to the end of flowering along with transplanting method was more effective in saving irrigation water with a good yield of the Roselle plant compare to treatment of 100% of the crop water requirement.

Keywords: Carotenoid, Drought stress, Leaf relative water content, Transplanting

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۲۱، شماره ۱، بهار ۱٤۰۲، ص ۲۸-۱۱

تأثیر زمان‌های مختلف کم‌آبیاری بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و کارایی مصرف آب چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) در دو روش کشت

فاطمه مشهدی[1]، حمیدرضا خزاعی[2*]، محمدرضا رمضانی مقدم[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۱۰

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر کم‌آبیاری در زمان‌های مختلف بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک و کارایی مصرف آب گیاه چای ترش در دو روش کاشت، آزمایشی مزرعه‌ای به‌صورت اسپلیت‌پلات یا کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کاشمر در دو سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵ انجام شد. تیمارهای آزمایش آبیاری به‌عنوان کرت اصلی در هفت سطح (تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی (I100)، ۸۰ درصد نیاز آبی از هشت برگی تا اواخر گلدهی (I_180)، ۸۰ درصد نیاز آبی از هشت برگی تا اوایل گلدهی (I_280)، ۸۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گلدهی (I_380)، ۶۰ درصد نیاز آبی از هشت برگی تا اواخر گلدهی (I_160)، ۶۰ درصد نیاز آبی از هشت برگی تا اوایل گلدهی (I_260)، ۶۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گلدهی (I_360) و روش کاشت به‌عنوان کرت فرعی در دو سطح (نشاءکاری و کشت مستقیم) بودند. نتایج نشان داد که محتوای نسبی آب برگ تنها تحت تأثیر کم‌آبیاری و روش کاشت و عملکرد دانه تنها تحت تأثیر کم‌آبیاری قرار گرفت. محتوای نسبی آب برگ در روش کاشت نشائی بیشتر از کاشت مستقیم بود. بیشترین محتوای نسبی آب برگ (۸۴/۶۶ درصد)، عملکرد دانه (۶۶۷/۵۴ کیلوگرم در هکتار) و کاسبرگ (۳۹۲/۷۳ کیلوگرم در هکتار) در تیمار I100 حاصل شد که برای عملکرد دانه و کاسبرگ اختلاف معنی‌داری با تیمار I_180 مشاهده نشد. اثر متقابل یا برهمکنش کم‌آبیاری و روش کاشت نشان داد که نشاءکاری توانست سبب بهبود میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید، پرولین، عملکرد کاسبرگ و کارایی مصرف آب دانه و کاسبرگ در اکثر سطوح آبیاری گردد. بیشترین میزان کارایی مصرف آب دانه (۰/۱۵ کیلوگرم بر مترمکعب) و کاسبرگ (۰/۰۸ کیلوگرم بر مترمکعب) در تیمار I_160 و روش کاشت نشائی حاصل شد و تیمار I_180 و روش کاشت نشائی در جایگاه بعدی قرار داشت. با توجه به نتایج حاصله، آبیاری به میزان ۸۰ درصد نیاز آبی از مرحله هشت برگی تا اواخر گلدهی و کشت نشائی به‌عنوان شیوه مدیریت مناسب جهت دستیابی به عملکرد مطلوب و حفظ منابع آب در منطقه مورد مطالعه مناسب به نظر می‌رسد.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، کاروتنوئید، محتوای نسبی آب برگ، نشاءکاری

مقدمه

چای ترش با نام علمی *Hibiscus sabdariffa* L. گیاهی دارویی متعلق به خانواده Malvaceae می‌باشد که در ایران به نام‌های چای ترش، چای قرمز و چای مکه یا مکی شناخته می‌شود (Torabi, 2004). این گیاه یک‌ساله و بومی آفریقا بوده و به سرما و یخبندان بسیار حساس است (Seghatoleslami *et al*., 2013). برگ، کاسبرگ و دانه چای ترش در تغذیه انسان و دام مورد استفاده قرار می‌گیرد. فیبر آن نیز منبع مهمی در صنعت نساجی و کاغذ است (Sepahrom & Moosavi, 2016; Parsa Motlagh *et al*., 2018). کشت چای ترش در سراسر جهان به دلیل کاربردهای دارویی آن در حال توسعه است (Ahmadpoor Dehkordi *et al*., 2019). میوه این گیاه دارای ویتامین C و کاسبرگ‌ها حاوی گوسیتین، آنتوسیانین، گلوکوزید هیبیسین هستند که اثرات کاهنده ویسکوزیته خون، فشار خون، تحریک‌کننده روده و ادرارآور دارند (Perry, 1980).

۱- دانشجوی دکتری، فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۲- استاد، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۳- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: h.khazaie@um.ac.ir
https://doi.org/10.22067/gsc.v0i0.87296

مصرف چای ترش سبب جلوگیری از بروز سرطان، بهبود کارایی دستگاه گوارش و کاهش فشار خون می‌گردد (Prasongwatana *et al*., 2008).

افزایش تقاضای گیاهان دارویی در پزشکی سنتی و همچنین صنعت داروسازی این نیاز را به‌وجود آورده است که برخی گیاهان در سطح تجاری کشت شوند، اما کمبود رطوبت خاک تهدیدی جدی برای تولید این گیاهان به شمار می‌آید (Abdul Jaleel *et al*., 2007). کمبود آب مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد و عملکرد گیاهان زراعی، باغی و دارویی به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا است (Heidari *et al*., 2006). کاهش محتوای آب در بافت‌های گیاهان در شرایط تنش خشکی باعث محدود شدن رشد و برخی تغییرات فیزیولوژیکی و متابولیکی در آن‌ها می‌شود (Good & Zaplachiniski, 1994). کمبود آب سبب کاهش محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی و کاهش فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی به‌ویژه آنزیم روبیسکو می‌شود (Burce, 1991). محتوای نسبی آب برگ شاخصی مهم در شناسایی پاسخ گیاهان به تنش خشکی است. زیاد بودن محتوای نسبی آب برگ و کم بودن سرعت از دست رفتن آب نشان‌دهنده سازگاری گیاهان به خشکی است (Munne *et al*., 1999). از سازوکارهای دیگری که گیاه در شرایط کمبود آب از آن بهره می‌گیرد، تنظیم اسمزی است. تجمع اسمولیت‌های سازگار نظیر پرولین و قندهای محلول از مهم‌ترین اسمولیت‌های سهیم در تنظیم اسمزی برای غالب شدن بر آثار سوء تنش خشکی است (Sanjari Mijani *et al*., 2018). مقدار پرولین آزاد در گیاهان در شرایط بدون تنش خشکی بسیار کم و در حدود ۰/۲ تا ۰/۶ میلی‌گرم در گرم ماده خشک است. مقدار این ماده پس از کاهش آب بافت‌ها تا ۴۰ تا ۵۰ میلی‌گرم در هر گرم ماده خشک افزایش می‌یابد (Rajinder, 1987).

مطالعات مختلفی در زمینه تأثیر تنش خشکی بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و عملکرد گیاهان صورت گرفته است. سنجری و همکاران (Sanjari Mijani *et al*., 2018) در مطالعه‌ای روی گیاه چای ترش نشان دادند که آبیاری پس از ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک A نسبت به آبیاری پس از ۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک A، کلروفیل a، کلروفیل b و پروتئین را کاهش و میزان پرولین را افزایش داد. میرشکاری و همکاران (Mirshekari *et al*., 2017) در مطالعه‌ای بیان داشتند میزان رشد ریشه و بخش‌های هوایی، محتوای نسبی آب برگ و میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی چای ترش در شرایط تنش خشکی به شدت کاهش یافت. در مطالعه هاشمی فدکی و همکاران (Hashemi Fadaki *et al*., 2018) کمترین میزان محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید، عملکرد تر و خشک کاسبرگ و بیشترین میزان پرولین گیاه چای ترش در تیمار تنش خشکی به میزان ۳۰ درصد آب در دسترس گیاه به‌دست آمد. نتایج آزمایش رهبریان و همکاران (Rahbarian *et al*., 2011) نشان داد که اثر تنش خشکی بر وزن خشک کاسبرگ و کل گیاه معنی‌دار بود. باباتونده و موفوکه (Babatunde & Mofoke, 2006) در بررسی تأثیر پنج دور آبیاری شامل ۳، ۵، ۷، ۹ و ۱۱ روز در چای ترش نشان دادند که بیشترین عملکرد کاسبرگ خشک با میانگین ۶۸۲ کیلوگرم در هکتار از تیمار آبیاری هر ۷ روز یکبار حاصل شد. سپهرم و موسوی (Sepahrom & Moosavi, 2016) در مطالعه خود نشان دادند که افزایش دور آبیاری از ۶۰ به ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی در چای ترش عملکرد تر و خشک کاسبرگ و عملکرد بیولوژیک را کاهش داد.

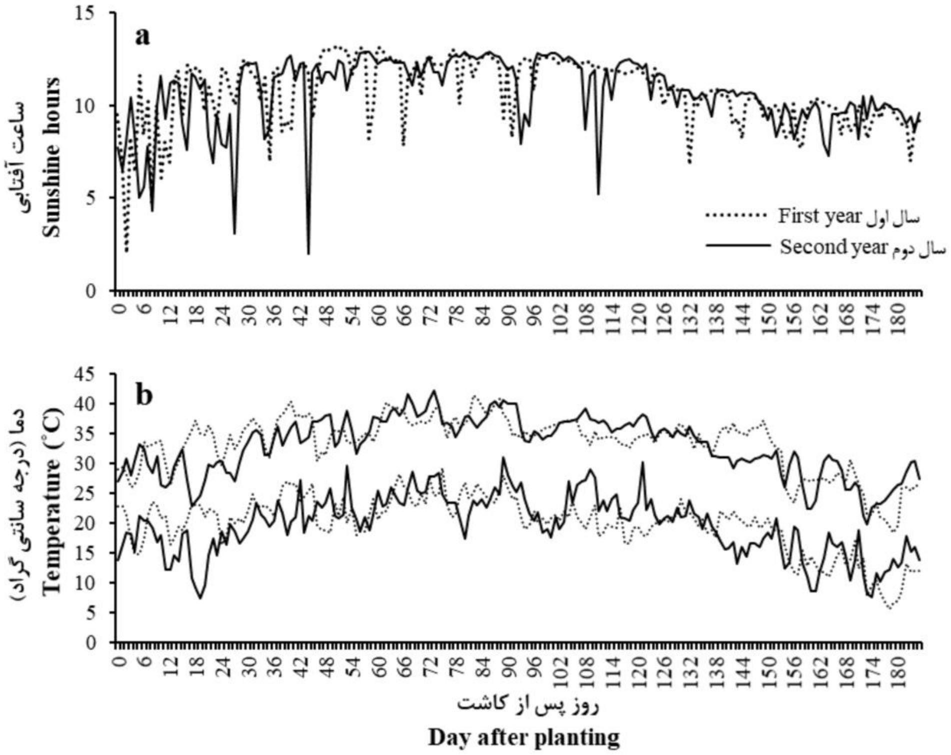
روش کاشت می‌تواند بر نحوه سبز شدن و میزان رشد گیاه زراعی تأثیرگذار باشد و به کاهش مصرف آب و افزایش بازده آب آبیاری همراه با افزایش عملکرد منجر شود (Griffith *et al*., 1990). تولید نشاء در گلخانه و انتقال آن به مزرعه، زودرسی محصول را مضاعف می‌کند، به طوری که با استفاده از نشاء، دوره رشد محصول جلو انداخته می‌شود (Mohamad Zadeh *et al*., 2018). به طور کلی استفاده از نشاء گیاهان برای رشد سریع‌تر و استقرار بهتر بوته قبل از این‌که درجه حرارت محیط برای جوانه‌زنی و رشد گیاه مناسب شود مورد توجه می‌باشد (Monks *et al*., 1998). مطالعات اندکی در زمینه واکنش گیاه چای ترش به روش‌های مختلف کاشت در دسترس است. در مطالعه‌ای، فلاحی و همکاران (Fallahi *et al*., 2017) اثر دو روش کاشت مستقیم و نشائی را بر ویژگی‌های کمی و کیفی چای ترش مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که روش کاشت نشائی سبب بهبود اسیدیته کل، فنل کل، ویتامین C، عملکرد کاسبرگ و کارایی مصرف آب چای ترش شد.

چای ترش یکی از گیاهان کم نیاز و مقاوم به خشکی است (Akbarinia *et al*., 2004). صرفه‌جویی در مصرف آب با کشت گیاهان مقاوم به خشکی به‌عنوان راهکاری برای مقابله با خشکی مطرح شده است. اما باید توجه داشت که اعمال کم‌آبیاری بدون برنامه‌ریزی دقیق می‌تواند منجر به کاهش رشد و تولید محصولات زراعی گردد. در این راستا تعیین زمان کم‌آبیاری که همراه با حداقل خسارت باشد راهکاری مناسب است که ضمن صرفه‌جویی در مصرف آب، سبب دستیابی به محصول بهینه می‌گردد، از این رو هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیر رژیم‌های مختلف کم‌آبیاری و روش کشت بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک، عملکرد و کارایی مصرف آب گیاه چای ترش بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر تنش خشکی در زمان‌های مختلف و روش کاشت بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک و عملکرد چای ترش، آزمایشی مزرعه‌ای در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی

کاشمر، واقع در ۲۳۰ کیلومتری جنوب غرب مشهد با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۱۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۸ درجه و ۲۸ درجه شرقی و ارتفاع ۱۰۵۳ متر از سطح دریا در دو سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ و ۹۹۶-۱۳۹۵ انجام شد. متوسط بارندگی سالانه ۱۹۳میلی‌متر و حداکثر و حداقل دمای مطلق سالانه در این منطقه به‌ترتیب ۳۷/۴ و ۰/۷- درجه سانتی‌گراد می‌باشد (Sabzevari *et al*., 2010). آب و هوای منطقه بر اساس طبقه‌بندی متزگر و همکاران (Metzger *et al*., 2012) گرم و خشک است. داده‌های هواشناسی محل آزمایش در طول فصل رشد چای ترش (اردیبهشت تا آبان ماه) در دو سال زراعی مورد مطالعه برای ایستگاه هواشناسی کاشمر در شکل ۱ نشان داده شده است. میانگین دمای روزانه در طول فصل رشد چای ترش در سال اول و دوم به‌ترتیب در دامنه بین ۱۲/۵۰ تا ۳۳/۸۰ و ۱۳/۹۵ تا ۳۵/۸۵ درجه سانتی‌گراد قرار داشت و میزان بارندگی نیز در طول فصل رشد چای ترش در سال اول و دوم به‌ترتیب ۲۱/۱۲ و ۶/۵۴ میلی‌متر بود.



شکل ۱- a) ساعت آفتابی و b) دمای حداکثر و حداقل روزانه ایستگاه هواشناسی کاشمر در طول فصل رشد چای ترش طی سال‌های زراعی ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶

Figure 1- a) Sunshine hours and b) daily maximum and minimum temperature of Kashmar meteorological station during the growing season in 2016 and 2017

آزمایش به‌صورت اسپلیت‌پلات (کرت‌های خرد شده) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل آبیاری به‌عنوان کرت اصلی در هفت سطح (۱۰۰ درصد نیاز آبی، ۸۰ درصد نیاز آبی از مرحله هشت برگی تا اواخر گلدهی، ۸۰ درصد نیاز آبی از مرحله هشت برگی تا اوایل گلدهی، ۸۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گلدهی،۶۰ درصد نیاز آبی از مرحله هشت برگی تا اواخر گلدهی، ۶۰ درصد نیاز آبی از مرحله هشت برگی تا اوایل گلدهی، ۶۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گلدهی) و روش کاشت به‌عنوان کرت فرعی در دو سطح (نشاءکاری و کشت مستقیم) بودند.

در روش کشت نشائی بذرها در ۲۰ اسفند ماه در هر دو سال داخل سینی نشاء تحت شرایط گلخانه‌ای کشت و در مرحله چهار برگی به زمین منتقل شد. کشت مستقیم نیز هم‌زمان با انتقال نشاء در ۱۰ اردیبهشت ماه ۱۳۹۵ و ۱۳ اردیبهشت ۱۳۹۶، در کرت‌هایی با ابعاد ۲/۵ در ۷ متر در عمق ۱/۵ سانتی‌متری انجام گرفت. عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم، دیسک و لودر در اوایل فروردین ماه انجام شد و سپس با استفاده از تراکتور زمین به‌صورت جوی و پشته با عرض ۵۰ سانتی‌متر آماده و نقشه طرح اجرا شد، که هر کرت شامل ۵ خط کاشت به طول ۷ متر با فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر و روی

ردیف ۲۰ سانتی‌متر بود. فاصله بین کرت‌ها یک متر و بین بلوک‌ها ۱/۵ متر در نظر گرفته شد. قبل از انجام آزمایش به‌منظور تعیین خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک، از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک مزرعه نمونه‌برداری به‌صورت تصادفی انجام و به آزمایشگاه منتقل شد که نتایج آن در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه تحقیقاتی در دو سال آزمایش

Table 1- Physical and chemical particular of research station soil in two experimental year

سال آزمایش Experimental year	کلاس بافت خاک Soil texture class	پتاسیم Potassium (%)	فسفر Phosphorus (%)	نیتروژن Nitrogen (%)	ماده آلی Organic matter (%)	هدایت الکتریکی عصاره اشباع EC (dS m^{-1})	اسیدیته pH
2016	لوم_رس _شن	2.1	0.12	0.04	0.36	2.5	7.9
2017	لوم	2	0.11	0.04	0.39	2.4	8

میزان تبخیر و تعرق با استفاده از روش پنمن مانتیث و با استفاده از آمار روزانه ایستگاه سینوپتیک کاشمر، محاسبه شد. تبخیر و تعرق گیاه از حاصل‌ضرب ضریب گیاهی (Kc) به‌دست آمده در منطقه مورد مطالعه در تبخیر و تعرق پتانسیل حاصل شد. از آن‌جا که نیازها و ضرایب گیاهی چای ترش در دسترس نمی‌باشد، با توجه به تشابه چای ترش و گیاه پنبه از نقطه نظر تعلق به خانواده مشترک و داشتن خصوصیات رشدی مشابه، Kc مربوط به پنبه در معادلات وارد شد. سپس تبخیر و تعرق روزانه گیاه (Td) با در نظر گرفتن درصد سایه‌انداز با استفاده از رابطه (۱) برآورد گردید.

$$Td = ETp \times (0.1 \times Ps \times 0.5) \quad (۱)$$

در این معادله، ETp تبخیر و تعرق گیاه بدون ملاحظه درصد سایه‌انداز و Ps درصد سایه‌انداز گیاه است. با اعمال ضرایب ۰/۶، ۰/۸ و ۱/۰۰ و همچنین راندمان آبیاری ۹۰ درصد میزان نیاز آبی روزانه محاسبه و با توجه به دور آبیاری و نیز مساحت هر کرت حجم آب آبیاری مورد نیاز هر تیمار محاسبه و از طریق تنظیم با کنتور و شیر فلکه در هر بار آبیاری در اختیار گیاه قرار گرفت. آبیاری با استفاده از لوله‌های تیپ با ضخامت جدار لوله ۳۰۰ میکرون، خروجی‌هایی با فاصله ۲۰ سانتی‌متر و آبدهی ۴ لیتر در ساعت در واحد متر صورت گرفت. اعمال تیمارهای آبیاری در زمان استقرار کامل گیاهچه‌ها و از مرحله ۸ برگی آغاز شد.

به‌منظور تأمین نیاز کودی گیاه، با توجه به نتایج آنالیز خاک، کودهای سوپر فسفات تریپل (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار)، سولفات پتاسیم (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) و کود اوره (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) در ۲ نوبت همزمان با آبیاری در مزرعه اعمال شد. همچنین از هیچ‌گونه علف‌کش و آفت‌کشی در طول دوره رشد گیاه استفاده نشد و وجین علف‌های هرز به‌صورت دستی صورت گرفت.

به‌منظور اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیولوژیک نمونه‌گیری از جوان‌ترین برگ‌های توسعه‌یافته گیاهان در مرحله حداکثر گلدهی انجام و ویژگی‌های فیزیولوژیک شامل کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید، محتوای نسبی آب برگ و میزان پرولین به شرح زیر با استفاده از برگ‌های فوق اندازه‌گیری شد.

جهت اندازه‌گیری میزان کلروفیل و کاروتنوئید از روش آرنون (Arnon, 1949) و محتوای نسبی آب برگ از روش لویت (Levitt, 1980) استفاده شد. میزان پرولین برگ نیز طبق روش بیتس (Bates *et al*., 1973) محاسبه گردید.

پس از پایان دوره رشد گیاه در اواسط مهر ماه، دو متر مربع از هر کرت برداشت گردید. سپس عملکرد کاسبرگ و دانه مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. اولین گلدهی در ۹۵ روز پس از کاشت اتفاق افتاد و پایان گلدهی ۱۲۲ روز پس از کاشت بود.

میزان کارایی مصرف آب براساس عملکرد اقتصادی کاسبرگ و دانه به‌صورت مجزا بر حسب گرم بر متر مکعب آب مصرفی (آب آبیاری + بارندگی) طبق رابطه (۲) محاسبه گردید:

$$WUE = D / Wp + Wi \quad (۲)$$

در این رابطه، D عملکرد اقتصادی، Wp آب بارندگی و Wi آب آبیاری است.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۳ و مقایسه میانگین ویژگی‌های مورد مطالعه بر مبنای آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

رنگدانه‌های فتوسنتزی

نتایج تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که بین دو سال آزمایش تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد از نظر میزان کلروفیل a وجود داشت (جدول ۲)، به طوری که میزان کلروفیل a در سال دوم آزمایش بیشتر از سال اول بود (شکل ۲). با توجه به این‌که دمای مطلوب برای رشد گیاه چای ترش در محدوده ۱۶ تا ۳۲ درجه سانتی‌گراد قرار دارد (Mohammad Zadeh, 2015) احتمالاً شرایط دمایی مطلوب‌تر در سال دوم آزمایش (شکل ۱) سبب شده است میزان کلروفیل a در این سال بیشتر از سال اول باشد.

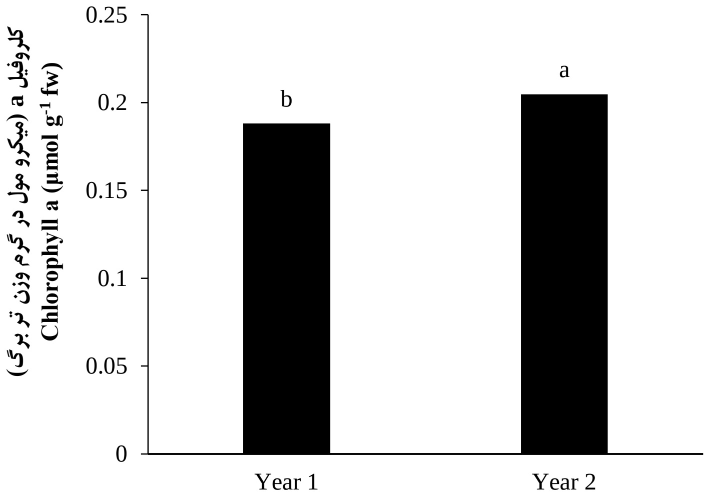
جدول ۲- تجزیه واریانس اثر آبیاری و روش کاشت بر ویژگی‌های فیزیولوژیک چای ترش

Table 2- Analysis of variance for effects of irrigation and planting method on physiological traits of Roselle

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات (MS)				
		کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کاروتنوئید Carotenoids	محتوای نسبی آب برگ Leaf relative water content	میزان پرولین برگ Leaf proline content
سال Year	1	0.00585**	0.006616 ns	0.001563 ns	40.331215**	0.582267 ns
سال× تکرار Year × Replication	4	0.00112	0.000234	0.000408	10.254869	0.894335
آبیاری Irrigation	6	0.02131**	0.013511**	0.039196**	1663.267482**	38.508694**
سال × آبیاری Year × Irrigation	6	0.00007	0.000001	1.9492E-07	0.288299	0.000146
خطای a Error a	24	0.00034	0.000511	0.002481	4.948989	0.102444
روش کاشت Planting method	1	0.01131**	0.010638**	0.033752**	50.320836**	2.541653**
سال × روش کاشت Year × Planting method	1	0.00003	0.000001	1.9048E-09	0.023836	0.000517
آبیاری × روش کاشت Irrigation × Planting method	6	0.01505**	0.003290**	0.011215**	5.848474 ns	1.380060**
سال × آبیاری × روش کاشت Year × Irrigation × Planting method	6	0.00006	0.000001	1.7357E-07	0.212251	0.000144
خطای b Error b	28	0.00075	0.000542	0.004002	4.342269	0.582267
ضریب تغییرات (٪) C.V	-	14.0	24.2	15.9	3.1	6.7

* و ** به‌ترتیب معنی‌داری سطوح احتمال پنج و یک درصد، ns غیر معنی‌دار

**,*are significant at 5 and 1% probability levels, ns: Non-significant



شکل ۲- اثر سال بر میزان کلروفیل a چای ترش

Figure 2- Effect of year on chlorophyll a content of Roselle

میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means followed by similar letter(S) are not significantly different at 5% probability level using Tukey's Studentized Range (HSD) Test.

اثر کم‌آبیاری و روش کاشت و اثر متقابل آن‌ها بر میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل کم‌آبیاری و روش کاشت نشان داد بیشترین میزان کلروفیل a (۰/۳۱ میکرو مول در گرم وزن تر برگ)، کلروفیل b (۰/۱۶ میکرو مول در گرم وزن تر برگ) و کاروتنوئید (۰/۵۶ میکرو مول در گرم وزن تر برگ) در تیمار آبیاری به میزان ۱۰۰ درصد نیاز آبی و روش کاشت نشائی به‌دست آمد (جدول ۳). کمترین میزان کلروفیل a (۰/۱۴ میکرو مول در گرم وزن تر برگ) در تیمارهای آبیاری به میزان ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گلدهی و روش کاشت مستقیم، کلروفیل b (۰/۰۴ میکرو مول در گرم وزن تر برگ) در تیمارهای آبیاری به میزان ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گلدهی و روش کاشت مستقیم و کاروتنوئید (۰/۳۱ میکرو مول در گرم وزن تر برگ) در تیمار آبیاری به میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گلدهی و روش کاشت مستقیم به‌دست آمد (جدول ۳). چای ترش گیاهی مقاوم به خشکی است و آبیاری زیاد آن با تأثیر بر رنگدانه‌های فتوسنتزی موجب کاهش آن‌ها و در نتیجه سبزی برگ‌ها می‌شود (Hashemi Fadaki *et al.*, 2018). لذا به نظر می‌رسد آبیاری به میزان ۱۰۰ درصد نیاز آبی با در نظر گرفتن شرایط محیطی حاکم در طول دوره رشد چای ترش با تأثیر منفی بر کلروفیل a موجب شده است تا میزان آن کاهش یابد. با توجه به این‌که در تیمارهای آبیاری کامل، آبیاری به میزان ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی از هشت برگی تا اواخر گلدهی، کم‌آبیاری از مرحله هشت برگی تا اواخر گلدهی اعمال شده بود احتمالاً سازگار شدن گیاه با شرایط ایجاد شده سبب شد که کاهش حجم آبیاری نتواند تأثیری بر محتوای کلروفیل b و کاروتنوئید داشته باشد. کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی با افزایش شدت خشکی می‌تواند به دلیل افزایش تولید رادیکال‌های آزاد در اثر تنش خشکی باشد که موجب پراکسیداسیون شده و در نتیجه به تخریب و تجزیه این رنگدانه‌ها می‌انجامد (Wise & Naylor, 1987; Schutz & Fangmeir, 2001). همچنین تنش خشکی با اختلال در فرآیندهای شیمیایی مسیر فتوسنتزی می‌تواند مانع انتقال الکترون در فتوسیستم II شود و کارایی فتوسنتز را کاهش دهد (Lashkari, 2013). محققان دیگری نیز کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی را با ایجاد تنش خشکی در چای ترش گزارش نمودند (Hashemi Fadaki *et al.*, 2018; Sanjari Mijani *et al.*, 2018). نتایج نشان داد که تنها در شرایط آبیاری کامل و کم‌آبیاری به میزان ۸۰ درصد از اوایل تا اواخر گلدهی کشت نشائی توانست به‌ترتیب سبب افزایش معنی‌دار میزان کلروفیل a و کلروفیل b نسبت به کشت مستقیم گردد. در تمام سطوح آبیاری، کشت نشائی سبب افزایش میزان کاروتنوئید گردید اما در هیچ از موارد این افزایش معنی‌دار نبود (جدول ۳). با توجه به این‌که نشاءکاری بر طول مراحل فنولوژیک مؤثر است و سبب جابه‌جایی زمان وقوع مراحل فنولوژیک نسبت به کشت مستقیم می‌گردد (Aghaee Okhchlar *et al.*, 2012) احتمالاً شرایط مناسب‌تر جهت رشد چای ترش در کشت نشائی سبب افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی نسبت به کشت مستقیم آن شده است.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری و روش کاشت بر ویژگی‌های فیزیولوژیک چای ترش

Table 3- Mean comparison for interaction effect between irrigation and planting method on physiological traits of Roselle

تیمار Treatment		کلروفیل a Chlorophyll a (µmol g^{-1} fw)	کلروفیل b Chlorophyll b (µmol g^{-1} fw)	کاروتنوئید Carotenoids (µmol g^{-1} fw)	پرولین Proline (µmol g^{-1} fw)
I100	Transplanting نشاءکاری	0.31 a	0.16 a	0.56 a	2.48 e
	Direct مستقیم	0.14 e	0.11 abcd	0.38 ab	2.86 de
$I_1$80	Transplanting نشاءکاری	0.22 bcd	0.13 abc	0.45 ab	3.18 de
	Direct مستقیم	0.23 bc	0.14 ab	0.40 ab	3.74 d
$I_2$80	Transplanting نشاءکاری	0.15 de	0.10 abcde	0.40 ab	4.71 c
	Direct مستقیم	0.19 cde	0.09 bcde	0.39 ab	4.73 c
$I_3$80	Transplanting نشاءکاری	0.15 de	0.11 abcd	0.32 b	6.32 b
	Direct مستقیم	0.14 e	0.04 e	0.33 b	6.01 b
$I_1$60	Transplanting نشاءکاری	0.25 abc	0.14 ab	0.45 ab	3.48 de
	Direct مستقیم	0.24 ab	0.09 bcde	0.43 ab	5.18 c
$I_2$60	Transplanting نشاءکاری	0.19 cde	0.07 bcde	0.43 ab	6.07 b
	Direct مستقیم	0.19 cde	0.14 ab	0.41 ab	6.38 b
$I_3$60	Transplanting نشاءکاری	0.18 cde	0.05 de	0.32 b	7.95 a
	Direct مستقیم	0.14 e	0.04 e	0.31 b	7.73 a

I100: آبیاری به میزان ۱۰۰٪ نیاز آبی، $I_1$80: آبیاری به میزان ۸۰٪ نیاز آبی از هشت برگی تا اواخر گلدهی، $I_2$80: آبیاری به میزان ۸۰٪ نیاز آبی از هشت برگی تا ابتدای گلدهی، $I_3$80: آبیاری به میزان ۸۰٪ نیاز آبی از اوایل تا اواخر گلدهی، $I_1$60: آبیاری به میزان ۶۰٪ نیاز آبی از هشت برگی تا اواخر گلدهی، $I_2$60: آبیاری به میزان ۶۰٪ نیاز آبی از هشت برگی تا ابتدای گلدهی، $I_3$60: آبیاری به میزان ۶۰٪ نیاز آبی از اوایل تا اواخر گلدهی.

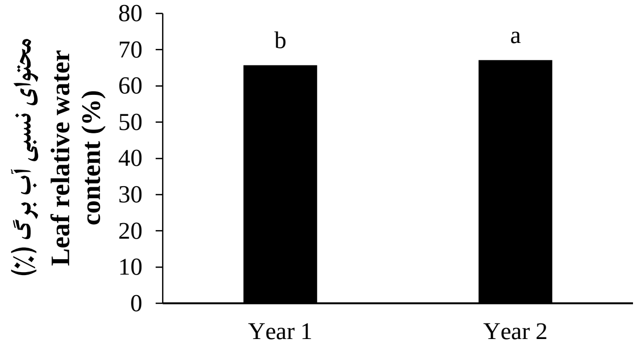
در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

I100: 100% crop water requirement (CWR), $I_1$80: 80% CWR from 8-leaf stage to end of flowering, $I_2$80: 80% CWR from 8-leaf stage to beginning of flowering, $I_3$80: 80% CWR from beginning of flowering, $I_3$60: 60% CWR from beginning to end of beginning to end of flowering, $I_1$60: 60% CWR from 8-leaf stage to end of flowering, $I_2$60: 60% CWR from 8-leaf stage to flowering.

Means in each column followed by similar letter(S) are not significantly different at 5% probability level using Tukey's Studentized Range (HSD) Test.

محتوای نسبی آب برگ

نتایج نشان داد که بین دو سال آزمایش اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد از نظر محتوای نسبی آب برگ وجود داشت (جدول ۲). به طوری که محتوای نسبی آب برگ در سال دوم بیشتر از سال اول بود (شکل ۳). این نتیجه به شرایط آب و هوایی (شکل ۱) مطلوب‌تر برای گیاه چای ترش در سال دوم آزمایش مربوط می‌باشد.



شکل ۳- اثر سال بر محتوای نسبی آب برگ چای ترش

Figure 3- Effect of year on leaf relative water content of Roselle

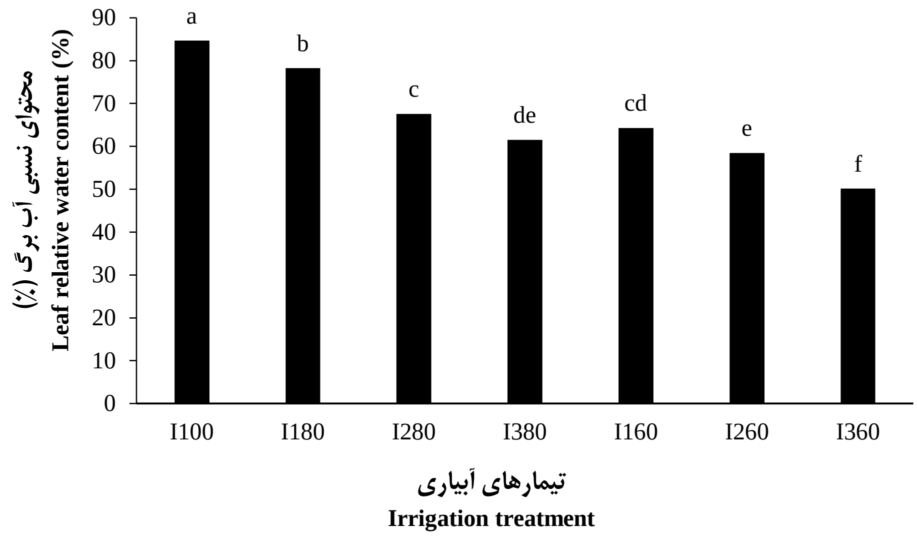
میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means followed by similar letter(S) are not significantly different at 5% probability level using Tukey's Studentized Range (HSD) Test.

تأثیر کم‌آبیاری و روش کاشت بر محتوای نسبی آب برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین و کمترین میزان محتوای نسبی آب برگ بین روش‌های مختلف آبیاری به‌ترتیب در شرایط بدون تنش و آبیاری به میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گلدهی حاصل شد (شکل ۴). تنش خشکی سبب کاهش محتوای نسبی آب برگ، پتانسیل کل آب و در نهایت کاهش رشد گیاهان می‌شود (Sanjari Mijani *et al*., 2015). سازوکار تنظیم اسمزی در گیاهان متحمل به خشکی، سبب حفظ و بالا نگه داشتن محتوای نسبی آب در گیاه می‌شود. چنانچه محتوای نسبی آب برگ در محدوده ۷۰–۳۵ درصد باشد، ظرفیت فتوسنتزی کاهش یافته که علت اصلی آن می‌تواند ممانعت نوری باشد (Kafi & Damghani, 2000). سنجری میجانی و همکاران (Sanjari Mijani *et al*., 2015) و عباس‌زاده و همکاران (Abbaszadeh *et al*., 2008) نیز کاهش محتوای نسبی آب برگ را با ایجاد تنش خشکی بر روی گیاهان دارویی چای ترش و بادرنجبویه گزارش نمودند. مقایسات میانگین در روش‌های مختلف کاشت نیز نشان داد که محتوای نسبی آب برگ در روش کاشت نشائی بیشتر بود (شکل ۵). احتمالا شرایط مطلوب‌تر آب و هوایی در طی رشد رویشی در روش نشاءکاری نسبت به کاشت مستقیم بذر سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ شده است.

پرولین برگ

نتایج نشان داد تأثیر کم‌آبیاری و روش کاشت و اثر متقابل آن‌ها بر میزان پرولین برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد که بیشترین میزان پرولین برگ در تیمارهای آبیاری به میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گلدهی و روش کاشت نشائی و مستقیم (به‌ترتیب ۷/۹۵ و ۷/۷۳ میکرو مول بر گرم وزن تر) حاصل شد و کمترین مقدار آن در تیمار شاهد و روش کاشت نشائی (۲/۴۸ میکرو مول بر گرم وزن تر) به‌دست آمد (جدول ۳). زمانی که گیاهان در شرایط تنش قرار می‌گیرند، غلظت آسیمولیت‌هایشان را افزایش می‌دهند تا جذب آب در شرایط تنش ادامه یابد. در بین آسیمولیت‌ها پرولین فراوان‌ترین ماده حل شده سازگار است که تجمع می‌یابد (Kuznetsov & Shevykova, 1999). نتایج مشابهی توسط سایر محققین گزارش شده است (Ahmadian *et al*., 2010; Babaei *et al*., 2010). نتایج همبستگی‌های ویژگی‌های مورد مطالعه نیز تأییدکننده نتیجه حاصله می‌باشد (جدول ۴). بین پرولین با کلروفیل‌های a، b و کاروتنوئید ارتباط منفی و معنی‌داری (به‌ترتیب $r = -۰/۴۳^{**}$، $r = -۰/۶۶^{**}$ و $r = -۰/۶۰^{**}$) وجود داشت (جدول ۴)، چرا که در شرایط بدون تنش که مقدار رنگدانه‌های فتوسنتزی در حداکثر مقدار خود قرار داشت، پرولین بسیار اندک تولید شد (جدول ۳).



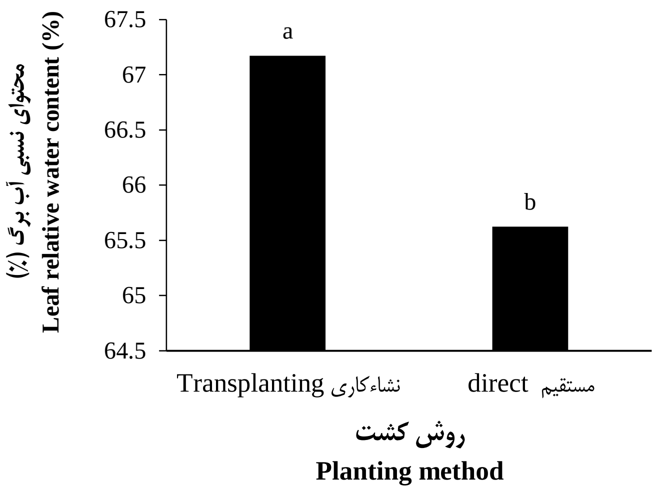
شکل ٤- اثر آبیاری بر محتوای نسبی آب برگ چای ترش

Figure 4– Effect of irrigation on relative leaf water content of Roselle

I100: آبیاری به میزان ۱۰۰٪ نیاز آبی، $I_1$80: آبیاری به میزان ۸۰٪ نیاز آبی از هشت برگی تا اواخر گلدهی، $I_2$80: آبیاری به میزان ۸۰٪ نیاز آبی از هشت برگی تا ابتدای گلدهی، $I_3$80: آبیاری به میزان ۸۰٪ نیاز آبی از اوایل تا اواخر گلدهی، $I_1$60: آبیاری به میزان ۶۰٪ نیاز آبی از هشت برگی تا اواخر گلدهی، $I_2$60: آبیاری به میزان ۶۰٪ نیاز آبی از هشت برگی تا ابتدای گلدهی، $I_3$60: آبیاری به میزان ۶۰٪ نیاز آبی از اوایل تا اواخر گلدهی.

میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

I100: 100% crop water requirement (CWR), $I_1$80: 80% CWR from 8-leaf stage to end of flowering, $I_2$80: 80% CWR from 8-leaf stage to beginning of flowering, $I_3$80: 80% CWR from beginning to end of flowering, $I_1$60: 60% CWR from 8-leaf stage to end of flowering, $I_2$60: 60% CWR from 8-leaf stage to beginning of flowering, $I_3$60: 60% CWR from beginning to end of flowering. Means followed by similar letter(S) are not significantly different at 5% probability level using Tukey's Studentized Range (HSD) Test.



شکل ۵- اثر روش کاشت بر محتوای نسبی آب برگ چای ترش

Figure 5- Effect of planting method on relative leaf water content of Roselle

میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means followed by similar letter(S) are not significantly different at 5% probability level using Tukey's Studentized Range (HSD) Test.

در سطوح مختلف تنش مقادیر پـرولین در روش کاشـت مسـتقیم بیشتر از نشائی بود با این وجود تنها در تیمـار آبیـاری بـه میـزان ۶۰ درصد از هشت برگی تا اواخر گلدهی بـین دو روش کاشـت اخـتلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول ۳). این امر نشان‌دهنده این اسـت کـه تنها در شرایط اعمال کم‌آبیاری به میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از هشـت برگی تا اواخر گلدهی نشاءکاری توانسته است از کاهش میزان پرولین برگ در نتیجه برخورد با دماهای بالاجلوگیری نماید و همچنین سبب تخفیف اثر تنش ایجاد شده ناشی از کاهش حجم آبیاری شود. احتمالاً برخورد زمان گلدهی با شرایط دمایی گـرم در کشـت مسـتقیم سـبب ایجاد تنش در گیاه و افزایش میزان پرولین شـده اسـت. همچنـین بـا توجه به این‌که هرچه میزان محتـوای نسـبی آب بـرگ بیشـتر باشـد امکان تولید پرولین کاهش مـی‌یابـد (Abbaszadeh *et al*., 2008)، احتمالاً کمتر بودن میزان محتوای نسـبی آب بـرگ در روش کاشـت مستقیم سبب افزایش میزان تولید پرولین در این تیمار گردیـده اسـت (جدول ۳). ارتباط منفی و معنی‌دار ($r = -۰/۹۲^{**}$) پرولین با محتـوای رطوبت نسبی برگ نیز مؤید این امر می‌باشد (جدول ۴).

جدول ٤- ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های مورد مطالعه

Table 4- Correlation coefficients between studied traits

ویژگی‌ها Triats	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کاروتنوئید Carotenoids	محتوای نسبی آب برگ Leaf relative water content	پرولین Proline	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد کاسبرگ Calyx yield	کارایی مصرف آب دانه WUE_{seed}	کارایی مصرف آب کاسبرگ WUE_{calyx}
کلروفیل a Chlorophyll a	1								
کلروفیل b Chlorophyll b	0.27*	1							
کاروتنوئید Carotenoids	0.55**	0.39**	1						
محتوای نسبی آب برگ Leaf relative water content	0.65**	0.68**	0.52**	1					
پرولین Proline	-0.43**	-0.66**	-0.60**	-0.92**	1				
عملکرد دانه Seed yield	0.39**	0.65**	0.52**	0.92**	-0.89**	1			
عملکرد کاسبرگ yield Calyx	0.42**	0.65**	0.57**	0.94**	-0.89**	0.98**	1		
کارایی مصرف آب دانه WUE_{seed}	0.58**	0.50**	0.49**	0.54**	-0.73**	0.62**	0.61**	1	
کارایی مصرف آب کاسبرگ WUE_{calyx}	0.59**	0.49**	0.51**	0.54**	-0.79**	0.61**	0.62**	0.99**	1

* و ** به‌ترتیب معنی‌داری سطوح احتمال پنج و یک درصد.

**,* are significant at 5 and 1% probability levels.

عملکرد دانه

با توجه به نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های انـدازه‌گیـری شـده، تنها اثر اصلی کم‌آبیاری بر عملکرد دانه چای ترش در سطح احتمـال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). مقایسه میـانگین اثـر کـم‌آبیـاری نشان داد که بیشترین عملکرد دانه (۶۶۷/۵۴ کیلـوگرم در هکتـار) در تیمار آبیاری کامل به‌دست آمد که با تیمار آبیاری به میزان ۸۰ درصد نیاز آبی از هشت برگی تا اواخر گلدهی اخـتلاف معنـی‌داری نداشـت (شکل ۶). در تیمار آبیاری به میزان ۸۰ درصد نیاز آبی از هشت برگی تا اواخر گلدهی به دلیل سازگار شدن گیـاه بـه شـرایط ایجـاد شـده، کم‌آبیاری نتوانست باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه گردد. چرا کـه رنگدانه‌های فتوسنتزی این تیمار در بالاترین سطح و محتوای نسـبی آب برگ و پرولین آن نزدیک بـه تیمـار آبیـاری کامـل قـرار داشـت (جدول ۳). تیمار آبیاری به میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخـر گلدهی نیز کمترین عملکرد دانه (۳۹۵/۲۸ کیلوگرم در هکتـار) را بـه خود اختصاص داد (شکل ۶). به‌طور کلی می‌توان گفت میـزان تـأثیر تنش خشکی بستگی به مرحله نموی دارد و بیشترین کاهش عملکرد زمانی است که تنش خشکی در فاصله گلدهی تا پر شدن دانه اتفـاق می‌افتد (Skoric, 2009). سری‌والی و همکاران (Sreevalli *et al*., 2001) بیان داشتند کاهش عملکرد گیاه در شرایط خشکی می‌توانـد به علت کاهش سطح فتوسنتزکننده، کاهش تولید کلروفیل، افـزایش انرژی مصرفی گیاه جهت بالا بردن غلظت شیره سـلولی و تغییـر در مسیرهای تنفسی باشد. در ایـن مطالعـه نیـز کـاهش رنگدانـه‌هـای

فتوسنتزی و محتوای نسبی آب برگ، افزایش میزان پرولین و بسته شدن روزنه‌ها و در نتیجه اختلال در ساخت مواد فتوسنتزی به علت تنش خشکی سبب کاهش عملکرد گردیده است. همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد دانه با رنگدانه‌های فتوسنتزی (**r= ۰/۳۹ برای کلروفیل a، **r=۰/۶۵ برای کلروفیل b و **r=۰/۵۲ برای کاروتنوئید) و محتوای نسبی آب برگ (**r= ۰/۹۲) و همبستگی منفی و معنی‌دار آن با میزان پرولین (**r=-۰/۸۹) تأییدکننده این امر می‌باشد (جدول ۴).

عملکرد کاسبرگ

نتایج نشان داد که عملکرد کاسبرگ تنها تحت تأثیر کم‌آبیاری در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۵). با توجه به همبستگی مثبت و معنی‌دار (**r= ۰/۹۸) عملکرد دانه با عملکرد کاسبرگ (جدول ۴) روند تغییر کاهش عملکرد کاسبرگ با اعمال تنش خشکی مشابه روند تغییر عملکرد دانه به‌دست آمد به گونه‌ای که بیشترین عملکرد کاسبرگ (۳۹۲/۷۳ کیلوگرم در هکتار) در شرایط آبیاری کامل حاصل شد که اختلاف معنی‌داری با تیمار آبیاری به میزان ۸۰ درصد نیاز آبی از هشت برگی تا اواخر گلدهی نداشت و کمترین میزان عملکرد کاسبرگ (۲۳۲/۹۳ کیلوگرم در هکتار) نیز در تیمار آبیاری به میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گلدهی حاصل شد (شکل ۷). هاشمی فدکی و همکاران (Hashemi Fadaki *et al.*, 2018) نیز با بررسی تأثیر تنش خشکی بر عمکرد چای ترش به این نتیجه رسیدند که بیشترین و کمترین عملکرد کاسبرگ به‌ترتیب مربوط به تیمارهای تنش خشکی به میزان ۷۰ درصد رطوبت در دسترس و تنش خشکی به میزان ۳۰ درصد رطوبت در دسترس بود.

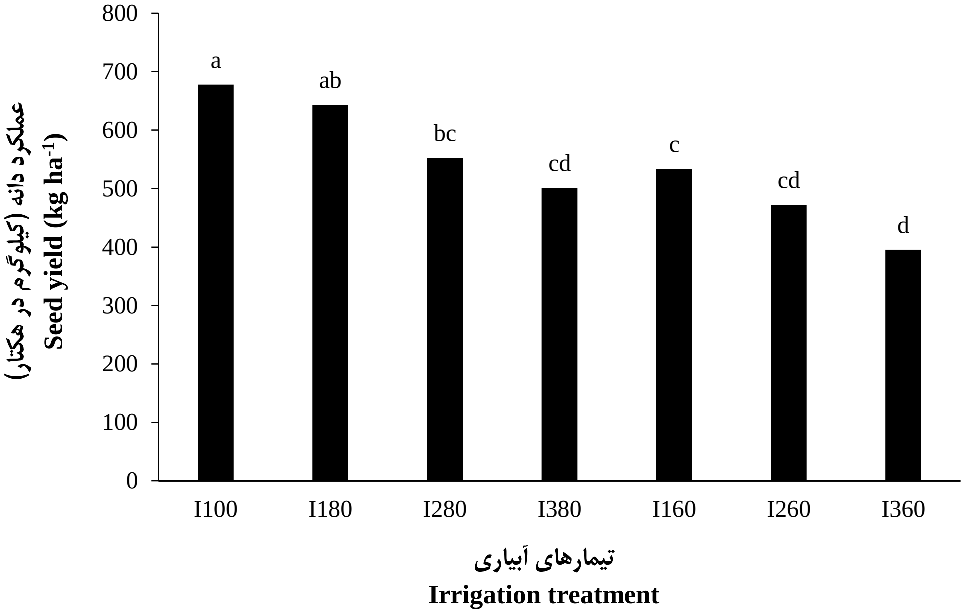
جدول ۵- تجزیه واریانس اثر آبیاری و روش کاشت بر عملکرد و کارایی مصرف آب چای ترش

Table 5- Analysis of variance for effects of irrigation and planting method on yield and water use efficiency of Roselle

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات (MS) عملکرد دانه Seed yield	عملکرد کاسبرگ yield Calyx	کارایی مصرف آب دانه WUE_{seed}	کارایی مصرف آب کاسبرگ WUE_{calyx}
سال Year	1	112.68 ns	478.97 ns	0.000003 ns	0.000013 ns
سال× تکرار Year × Replication	4	11163.74	1000.53	0.000073	0.000024
آبیاری Irrigation	6	681161.82**	37452.68**	0.008914**	0.00298**
سال × آبیاری Year × Irrigation	6	6503.90	318.97	0.000021	0.000001
خطای a Error a	24	31503.77	359.75	0.000027	0.000001
روش کاشت Planting method	1	6444.36 ns	2982.86 ns	0.001633 ns	0.000585 ns
سال × روش کاشت Year × Planting method	1	1066.07	284.21	0.000020	0.000006
آبیاری × روش کاشت Irrigation × Planting method	6	6826.19 ns	372.68 ns	0.000352**	0.000107**
سال × آبیاری × روش کاشت Year × Irrigation × Planting method	6	6641.07	327.25	0.000020	0.000005
خطای b Error b	28	1876.72	412.16	0.000037	0.000008
ضریب تغییرات C.V (٪)	-	8.0	6.5	6.7	5.6

* و ** به‌ترتیب معنی‌داری سطوح احتمال پنج و یک درصد، ns غیر معنی‌دار

*,** are significant at 5 and 1% probability levels, ns: Non-significant



شکل ٦- مقایسه میانگین اثر اصلی آبیاری بر عملکرد دانه چای ترش

Figure 6- Mean comparison for effect of irrigation on seed yield of Roselle

I100: آبیاری به میزان ۱۰۰٪ نیاز آبی، $I_{1}80$: آبیاری به میزان ۸۰٪ نیاز آبی از هشت برگی تا اواخر گلدهی، $I_{2}80$: آبیاری به میزان ۸۰٪ نیاز آبی از هشت برگی تا ابتدای گلدهی، $I_{3}80$: آبیاری به میزان ۸۰٪ نیاز آبی از اوایل تا اواخر گلدهی، $I_{1}60$: آبیاری به میزان ۶۰٪ نیاز آبی از هشت برگی تا اواخر گلدهی، $I_{2}60$: آبیاری به میزان ۶۰٪ نیاز آبی از هشت برگی تا ابتدای گلدهی، $I_{3}60$: آبیاری به میزان ۶۰٪ نیاز آبی از اوایل تا اواخر گلدهی.

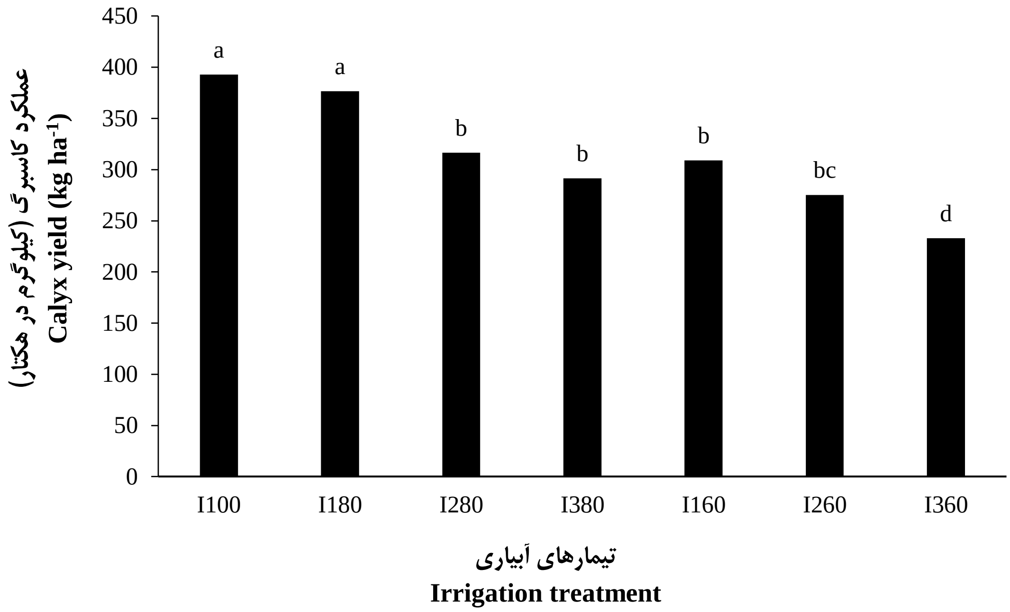
میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

I100: 100% crop water requirement (CWR), $I_{1}80$: 80% CWR from 8-leaf stage to end of flowering, $I_{2}80$: 80% CWR from 8-leaf stage to beginning of flowering, $I_{3}80$: 80% CWR from beginning to end of flowering, $I_{1}60$: 60% CWR from 8-leaf stage to end of flowering, $I_{2}60$: 60% CWR from 8-leaf stage to beginning of flowering, $I_{3}60$: 60% CWR from beginning to end of flowering. Means followed by similar letter(S) are not significantly different at 5% probability level using Tukey's Studentized Range (HSD) Test.

کارایی مصرف آب

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کم‌آبیاری و اثر متقابل کم‌آبیاری و روش کاشت بر کارایی مصرف آب دانه و کاسبرگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری و روش کاشت نشان داد که بیشترین کارایی مصرف آب دانه (۰/۱۵ کیلوگرم بر مترمکعب) و کاسبرگ (۰/۰۸ کیلوگرم بر مترمکعب) در تیمار آبیاری به میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از مرحله هشت برگی تا اواخر گلدهی و روش کاشت نشائی حاصل شد (شکل ۸). تیمار ۶۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گلدهی و روش کاشت مستقیم نیز کمترین میزان کارایی مصرف آب دانه (۰/۰۶ کیلوگرم بر مترمکعب) و کاسبرگ (۰/۰۳ کیلوگرم بر مترمکعب) را به خود اختصاص داد (شکل ۸). در تمام سطوح آبیاری روش کاشت غیرمستقیم کارایی مصرف آب بالاتری نسبت به روش مستقیم داشت.

با این حال روش کاشت نشائی تنها توانست در سطح آبیاری به میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از مرحله هشت برگی تا انتهای گلدهی سبب افزایش معنی‌دار کارایی مصرف آب دانه و کاسبرگ و در سطح آبیاری به میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از هشت برگی تا ابتدای گلدهی سبب افزایش معنی‌دار کارایی مصرف آب کاسبرگ گردد (شکل ۸). این امر می‌تواند به علت عملکرد بالاتر در روش کاشت نشائی نسبت به روش کاشت مستقیم، علی‌رغم معنی‌دار نبودن اثر روش کاشت بر عملکرد دانه و کاسبرگ، باشد. چرا که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین کارایی مصرف آب دانه و کاسبرگ به‌ترتیب با عملکرد دانه ($r = ۰/۶۲^{**}$) و کاسبرگ ($r= ۰/۶۲^{**}$) حاصل شد (جدول ۴). فلاحی و همکاران (Fallahi *et al.*, 2017) نیز بیان داشتند که روش کاشت نشائی چای ترش سبب بهبود کارایی مصرف آب این گیاه می‌گردد.



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر اصلی آبیاری بر عملکرد کاسبرگ چای ترش

Figure 7– Mean comparison for effect of irrigation on calyx yield of Roselle

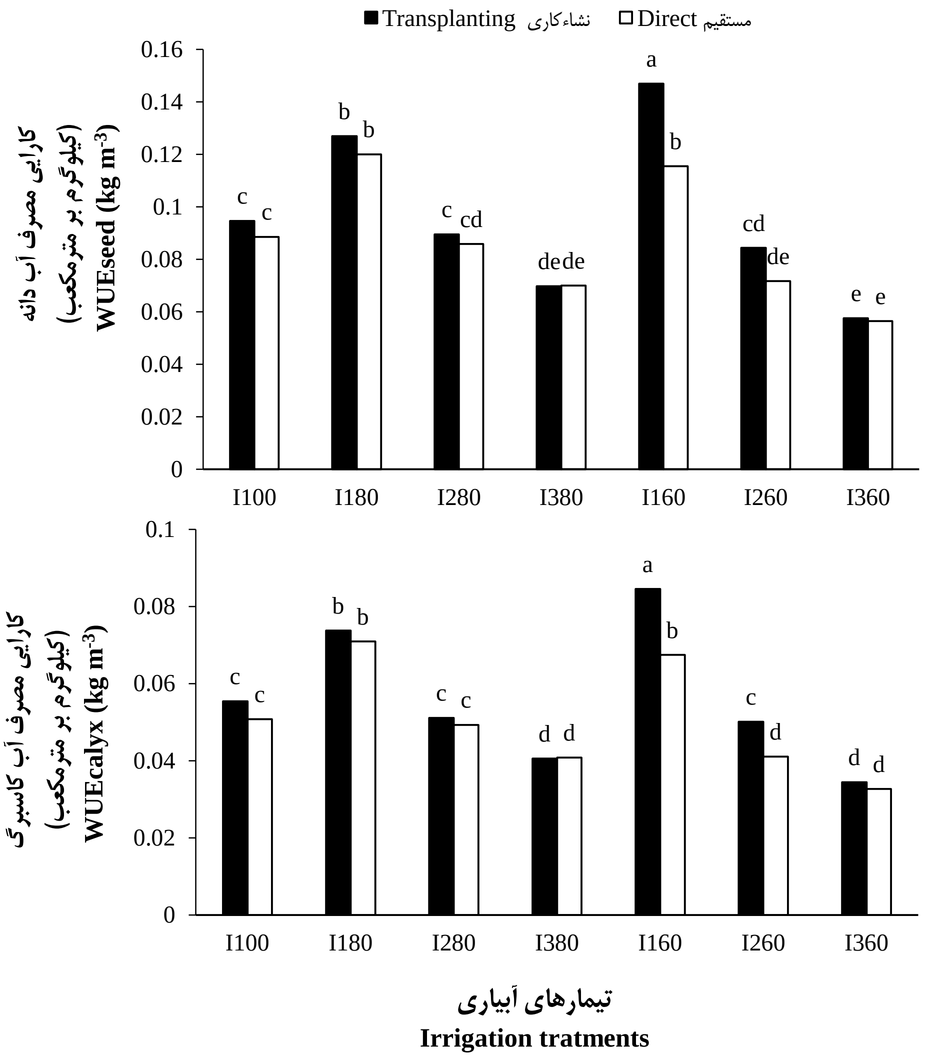
I100: آبیاری به میزان ۱۰۰٪ نیاز آبی، $I_{1}80$: آبیاری به میزان ۸۰٪ نیاز آبی از هشت برگی تا اواخر گلدهی، $I_{2}80$: آبیاری به میزان ۸۰٪ نیاز آبی از هشت برگی تا ابتدای گلدهی، $I_{3}80$: آبیاری به میزان ۸۰٪ نیاز آبی از اوایل تا اواخر گلدهی، $I_{1}60$: آبیاری به میزان ۶۰٪ نیاز آبی از هشت برگی تا اواخر گلدهی، $I_{2}60$: آبیاری به میزان ۶۰٪ نیاز آبی از هشت برگی تا ابتدای گلدهی، $I_{3}60$: آبیاری به میزان ۶۰٪ نیاز آبی از اوایل تا اواخر گلدهی.

میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

I100: 100% crop water requirement (CWR), $I_{1}80$: 80% CWR from 8-leaf stage to end of flowering, $I_{2}80$: 80% CWR from 8-leaf stage to beginning of flowering, $I_{3}80$: 80% CWR from beginning to end of flowering, $I_{1}60$: 60% CWR from 8-leaf stage to end of flowering, $I_{2}60$: 60% CWR from 8-leaf stage to beginning of flowering, $I_{3}60$: 60% CWR from beginning to end of flowering.
Means followed by similar letter(S) are not significantly different at 5% probability level using Tukey's Studentized Range (HSD) Test.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج این آزمایش نشان داد که علی‌رغم مقاوم بودن چای ترش به تنش خشکی، آبیاری کمتر از نیاز آبی این گیـاه سـبب تأثیر منفی بر میزان کلروفیـل a، کلروفیـل b، کاروتنوئیـد، محتـوای نسبی آب برگ، پرولین بـرگ، عملکـرد دانـه و کاسـبرگ ایـن گیـاه گردید. میزان این تأثیر بسته به مرحله رشـدی گیـاه متفـاوت بـود و بیشترین تأثیر منفی در زمان اعمـال کـم‌آبیـاری در مرحلـه حسـاس رشدی گیاه یعنی اوایل تا اواخر گلدهی حاصـل شـد. بـا ایـن وجـود کم‌آبیاری در طول دوره رشد یعنی از مرحله هشـت برگـی تـا اواخـر گلدهی، به دلیل سازگار شدن گیاه به شرایط ایجـاد شـده، نتوانسـت تأثیر معنی‌داری بر اکثر ویژگی‌هـای فیزیولوژیـک و عملکـرد دانـه و کاسبرگ گیاه داشـته باشـد. نشـاءکاری نسـبت بـه کشـت مسـتقیم توانسـت سـبب بهبـود ویژگـی‌هـای فیزیولوژیـک در زمـان اعمـال کم‌آبیاری گردد اما بین این دو روش کاشت، تفاوت معنی‌داری از نظر عملکرد دانه و کاسبرگ در سطوح مختلف تنش ایجاد نشـد. بـا ایـن وجود با توجه به آب مصرفی کمتر در روش کشت نشائی، ایـن روش کاشت توانست سبب بهبود کارایی مصرف آب دانه و کاسبرگ گردد. لذا به نظر می‌رسد که کاشت نشـائی یـک اسـتراتژی مناسـب بـرای تولید چای ترش در مناطقی است که با ریسک خشکی همراه هستند. با توجه به نتایج به‌دست آمده، آبیاری به میزان ۸۰ درصد نیاز آبـی از مرحله هشت برگی تا اواخر گلـدهی همـراه بـا روش کشـت نشـائی به‌عنوان شیوه مدیریت مناسب جهت دستیابی به عملکـرد مطلـوب و افزایش کارایی مصرف آب و در نتیجه حفظ منابع آب در منطقه مورد مطالعه مناسب به نظر می‌رسد.



شکل ۸- اثر متقابل آبیاری و روش کاشت بر کارایی مصرف آب دانه و کاسبرگ چای ترش

Figure 8- Interaction effect between irrigation and planting method on seed and calyx water use efficiency of Roselle

I100: آبیاری به میزان ۱۰۰٪ نیاز آبی، I_180: آبیاری به میزان ۸۰٪ نیاز آبی از هشت برگی تا اواخر گلدهی، I_280: آبیاری به میزان ۸۰٪ نیاز آبی از هشت برگی تا ابتدای گلدهی، I_380: آبیاری به میزان ۸۰٪ نیاز آبی از اوایل تا اواخر گلدهی، I_160: آبیاری به میزان ۶۰٪ نیاز آبی از هشت برگی تا اواخر گلدهی، I_260: آبیاری به میزان ۶۰٪ نیاز آبی از هشت برگی تا ابتدای گلدهی، I_360: آبیاری به میزان ۶۰٪ نیاز آبی از اوایل تا اواخر گلدهی.

میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

I100: 100% crop water requirement (CWR), I_180: 80% CWR from 8-leaf stage to end of flowering, I_280: 80% CWR from 8-leaf stage to beginning of flowering, I_380: 80% CWR from beginning to end of flowering, I_160: 60% CWR from 8-leaf stage to end of flowering, I_260: 60% CWR from 8-leaf stage to beginning of flowering, I_360: 60% CWR from beginning to end of flowering. Means followed by similar letter(S) are not significantly different at 5% probability level using Tukey's Studentized Range (HSD) Test.

References

1. Abbaszadeh, B., Sharifi, A. E., Lebaschi, M. H., Naderi, H. B. M., & Moghadami, F. (2008). The effect of drought stress on proline contents, soluble sugars, chlorophyll and relative water contents of balm (*Melissa officinalis* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *23*(4), 504-513. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/ij.mapr.2008.10090
2. Abdul Jaleel, C., Manirannan, P., Sankar, B., Kishorekumar, A., & Gopi, R. (2007). Water deficit stress mitigation by calcium chloride in catharanthus rose us: Effects on oxidative stress, proline metabolism and indole alkaloid accumulation. Colloids and Surface B: Biointerfaces, 60(1), 110-116.

https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2007.06.006

3. Aghaee Okhchlar, R., Amirnia, R., Tajbakhsh, M., Ghiyasi, M., & Alizadeh, M. B. 2012. The effect of sowing date andsowing method on quantity characteristics and essential oil content on moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.). *International Research Journal of Applied and Basic Sciences, 3*(2), 353-61.
4. Ahmadian, A., Ghanbari, A., Siahsar, B., Heidari, M., Ramroodi, M., & Moosavi-Nik, S. (2011). Residual effect of chemical and animal fertilizers and compost on yield, yieldcomponents, physiological characteristics and essential oil content of *Matricaria chamomilla* L. under drought stress conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research, 8*(4), 668-676. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22124/jms.2018.2941
5. Ahmadpoor Dehkordi, E., Danesh Shahraki, A., & Khosravi, P. (2019). Effect of seed priming with salicylic acid on germination indices and seedling growth of sistan's native roselle (*Hibiscus sabdariffa*) under drought stress. *Iranian Journal of Seed Science and Research, 5*(4), 1-11. (in Persian with English abstract).
6. Akbarinia, A., Ghalavand, A., Sefidcon, F., Rezaee, M. B., & Sharifi, A. (2004). Study on the effect of different rates of chemical fertilizer, manure and mixure of them on seed yield and main, compositions of essential oil of ajowan (*Trachyspermum copticum*). *Agronomy and Horticulture, 61*, 32-41. (in Persian with English abstract).
7. Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. *American Society of Plant Physiologists, 24*, 1-10. https://doi.org/10.1104%2Fpp.24.1.1
8. Babaee, K., Dehaghi, M. A., Sanavi, S. M., & Jabbari, R. (2010). Water deficit effect on morphology, proline content and thymol percentage of Thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 26*(2), 239-251. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/ijmapr.2010.6939
9. Babatunde, F. E., & Mofoke, A. L. E. (2006). Performance of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) as influenced by irrigation schedules. *Pakistan Journal of Nutrition, 5*(4), 363-367. https://doi.org/10.3923/pjn.2006.363.367
10. Bates, I. S., Waldern, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil, 39*, 205-207. https://doi.org/10.1007/BF00018060
11. Burce, J. A. (1991). Comparative response of leaf conductance to humidity in single attached leaves. *Experimental Botany, 32*, 629-634. https://doi.org/10.22059/jci.2015.55189
12. Fallahi, H. R., Ghorbany, M., Aghhavani-Shajari, M., Samadzadeh, A., & Asadian, A. H. (2017). Qualitative response of roselle to planting methods, humic acid application, mycorrhizal inoculation and irrigation management. *Journal of Crop Improvement, 31*(2), 192-208. https://doi.org/10.1080/15427528.2016.1269378
13. Good, A. G., & Zaplachiniski, S. T. (1994). The effects of drought on free amino acid accumulation and protein synthesis in *Brassica napus*. *Physiologia Plantarum, 90*(1), 9-14. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1994.tb02185.x
14. Griffith, D. R., Parsons, S. D., & Mannering, J. V. (1990). Mechanics and adaptability of ridge planting for corn and soybean. *Soil Tillage Research, 18*, 113-126.
15. Hashemi Fadaki, S., Fakheri, B., Mehdi Nezhad, N., & Mohammad Pour, R. (2018). Effects of nano and nano bio-fertilizer on physiological, biochemical characteristics and yield of roselle under drought stress. *Journal of Crops Improvement, 20*(1), 45-66. https://doi.org/10.22059/jci.2018.219078.1568
16. Heidari, M., Bakhshandeh, A. M., Nadeyan, H., Fathi, G., & Alami, S. (2006). The effect of different levels salinity and nitrogen on seed yield, uptake and osmotic regulation of Na and K wheat (*Triticum aestivum*) c.v. Chamran. *Journal of Horticultural Science, 37*(3), 501-510. (in Persian with English abstract).
17. Kafi, M., & Damghani, A. (2000). *Mechanisms of Plants Resistance to Stress*. Ferdowsi university of Mashhad Press, Mashhad, Iran. (in Persian).
18. Kuznetsov, V. I., & Shevykova, N. I. (1999). Proline under stress: Biological role, metabolism, and regulation. *American Society of Plant Physiologists, 46*, 274-287.
19. Lashkari, F. (2013).The effect of superabsorbent polymer, animal manure and potassium on the quantitative and qualitative characteristics of the medicinal plant Karla (*momordica charantia*) in different rounds of irrigation. MSc Thesis. Zabol University, Zabol, Iran. (in Persian with English abstract).
20. Metzger, M. J., Bunce, R. G., Jongman, R. H., Sayre, R., Trabucco, A., & Zomer, R. (2012). A high-resolution bioclimate map of the world: a unifying framework for global biodiversity research and monitoring. *Global Ecology and Biogeography, 22*(5), 630-638. https://doi.org/10.1111/geb.12022.
21. Mirshekari, M., Einali, A., & Valizadeh, J. (2017). Physiological and biochemical responses of *Hibiscus sabdariffa* to drought stress in the presence of salicylic acid. *Iranian Journal of Plant Biology, 32*, 21-38. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22108/ijpb.2017.100883.1002
22. Mohamad Zadeh, H., Asghary, J., Farajee, H., Moradi, A., & Majidian, M. (2018). Effect of planting date and method on ear yield, water use efficiency and some phenological characteristics of sweet corn in Yasouj. *Cereal Research*, 8(3), 371-385. (in Persian with English abstract).
23. Mohammad Zadeh, M. (2015). *Effect of wind stress on morphological and biochemical properties of Roselle (Hibiscus sabdariffa) under chemical and biofertilizer treatments*. MSc. Thesis, Faculty of Agriculture, Zabol University. (in Persian with English abstract).

24. Monks, D. W., & Scholtheis, J. R. (1998). Critical weed free period for large crabgrass (*Digitaria sanguinalis*) in transplanted watermelon. *Weed Science, 46*, 530-532. https://doi.org/10.1017/S0043174500091049
25. Munne, S., Schwarz, K., Alegre, L., Horvath, G., & Szigeti, Z. (1999). Aloha-tocopherol protection against drought, induced damage in *Rosmarinus officinalis* L. and *Milissa officinalis* L. Proceedings of an International Workshaop at Tata, Hungary.
26. Parsa Motlagh, B. P., Moghaddam, P. R., Ghorbani, R., & Sardooei, Z. A. (2018). Phytochemical characteristics of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) under different fertilizer systems and irrigation water. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 33*(6), 928-939. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/ijmapr.2018.108446.1896.
27. Perry, L. M. (1980). *Medicinal plants of east and Southeast Asia: Attributed Properties and Uses*. MIT Press, Cambridge. https://doi.org/10.1016/j.jep.2008.02.036.
28. Prasongwatana, V., Woottisin, S., Sriboonlue, P., & Kukongviriyapan, V. (2008). Uricosuric effect of roselle (*Hibiscus sabdariffa*) in normal and renal-stone former subject. *Journal of Ethnopharmacology, 117*, 491-495. https://doi.org/10.1016/j.jep.2008.02.036 .
29. Rahbarian, P., Afsharmanseh, G., & Modafea Behzadi, N. (2011). Effect of drought stress as water deficit and planting density on yield of roselle (*Hibiscus sabdariffa*) in Jiroft region. *New Finds in Agriculture, 5*(3), 249-257. (in Persian with English abstract).
30. Rajinder, S. D. (1987). Glutathione statues and protein synthesis during drought and subsequent dehydration in *Torula rulis*. *American Socienty of Plant Physiologists, 83*, 816-819. https://doi.org/10.1104/pp.83.4.816
31. Sabzevari, S., Khazaie, H. R., Ghaemi, A., Naderi, A., & Ahmadi, M. (2010). Effect of cultivar and harvest date on quantitative and qualitative characteristics of autumn sown sugar beet in Kashmar region. *Journal of Research in Crop Sciences, 9*(3), 67-78. (in Persian with English abstract).
32. Sanjari Mijani, M., Sirousmehr, A. R., & Fakheri, B. (2015). The effects of drought stress and humic acid on some physiological characteristics of roselle. *Journal of Crop Improvement, 17*(2), 403-414. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/jci.2015.55189
33. Sanjari Mijani, M., Sirousmehr, A. R., & Fakheri, B. (2018). The effects of drought stress and humic acid on morphological traits, yield and anthocyanin of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Agroecology, 8*(3), 346-358. (in Persian with English abstract).
34. Schutz, M., & Fangmeir, E. (2001). Growth and yield responses of spring wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Minaret) to elevated CO_2 and water limitation. *Environmental Pollution, 114*(2), 187-194. https://doi.org/10.1016/s0269-7491(00)00215-3
35. Seghatoleslami, M. J., Mosavi, S. G., & Barzegaran, T. (2013). Effect of irrigation levels and planting date on yield and water use efficiency of *Hibiscus sabdariffa* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 29*, 144-156. (in Persian with English abstract).
36. Sepahrom, A., & Moosavi, S. G. (2016). The effect of irrigation and nitrogen levels on morphological traits, yield and yield components of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 32*(3), 436-449. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/ijmapr.2016.106826
37. Skoric, D. (2009). Sunflower breeding for resistance to abiotic stresses. *Helia, 32*, 1-15. https://doi.org/10.2298/HEL0950001S
38. Sreevalli, Y., Baskaran, K., chandra shekara, R., Kuikkarni, R., Sushil, H, Samresh, D., Kukre, J., Ashok, A., Sharmr Singh, K., Srikant, S., & Rakesh, T. (2001). Preliminary observation on the effect of irrigation frequency and genotypes on yield and alkaloid concentration in Petriwinkle. *Journal of Medicinal and Aromatic Plant Science, 22*, 356-358.
39. Torabi, A. (2004). *Study of planting date and row spacing on yield of Hibiscus sabdariffa*. MSc Thesis. Jiroft branch, Islamic Azad University, Jiroft, Iran. (in Persian with English abstract).
40. Levitt, J. (1980). *Response of Plants to Environmental Stresses. Vol. 2. Water, Radiation, Salt and Other Stresses*. Academic press. New York. p. 650.
41. Wise, R. R., & Naylor, A. W. (1987). Chilling enhanced photo-oxidation, the peoxidative destruction of lipids during chilling injury to photosynthesis and ultrastructure. *Plant Physiology, 83*, 272-2872. https://doi.org/10.1104/pp.83.2.272